

TEL ÇAPI, MATERYALİ, STİFFNESS VE TEL İLE BRAKET ARASINDAKİ AÇININ SÜRTÜNME KUVVETLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Yahya TOSUN*

Aslıhan M. Ertan ERDİNÇ**

Banu DİNÇER

ÖZET: Kuvvetin önemli bir bölümünün sürtünme ile kaybedilmesi nedeniyle, tel ile braket arasındaki sürtünme klinisyenler için önemlidir. Bu çalışmanın amacı tel çapının, materyal özelliklerinin (yüzey pürüzü ve stiffness) ve tel ile braket arasındaki açının sürtünme kuvvetleri üzerine etkisini ortaya koymaktır. Elde edilen sonuçlara göre; Sürtünme direnci bütün tel materyallerinde açı arttıkça artmaktadır. Aynı materyalden tellerde ise ince çaplı teller kalın çaplılara oranla daha az sürtünme göstermektedir. Yüzey pürüzü tel ile braket arasındaki sürtünme üzerinde etkin bir faktör olarak görülmektedir. İyon implantasyonu metoduyla yüzeyi sertleştirilen ve pürüzleri azaltılan Slippery NiTi aynı çaplı SS, NiTi ve TMA tellerden daha düşük sürtünme değerleri göstermektedir. Çok sarımlı teller tüm açı değerlerinde SS, NiTi ve TMA tellere göre düşük sürtünme direncine sahiptir.

Anahtar kelimeler: Sürtünme kuvveti, açı, braket, tel

SUMMARY: THE EFFECT OF SIZE, MATERIAL, STIFFNESS AND ANGULATION ON THE FRICTIONAL FORCES BETWEEN BRACKET AND ARCHWIRE. Because an important part of force is lost in friction, this friction between wire and bracket is very important for clinicians. The aim of the study is to investigate the effect of an angle on the friction resistance between the stainless steel bracket and wires with different diameters and materials using a sensitive measuring method. According to results; friction resistance increased as the angle increased with all materials. Surface roughness has been observed to be a factor effective on the friction between the wire and the bracket. With wires of same material, narrow diameters wires showed less friction compared to wider diametered wires.

* Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı, Öğretim Üyesi.

** Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti Anabilim Dalı, Araştırma Görevlisi.

Slippery NiTi which is hardened by ion-implantation method and surface roughness is reduced, showed lower friction values than SS, NiTi and TMA wires. Multistrand wires have lower friction resistance values at all angles than SS, NiTi and TMA wires.

Key Words: Friction force, angle, bracket, wire

GİRİŞ

Son yıllarda, hasta başında zaman kazandıran kaydırmalı tekniklerin daha çok uygulanmaya başlaması ve gelişen teknolojiye uygun yeni materyallerin daha sık kullanılır olması nedeniyle tel ile braket arasındaki sürtünme direnci ortodontist için daha da önem kazanmaktadır. Sürtünme klinisyen için önemlidir çünkü boşluk kapatma esnasında kullanılan kuvvetin önemli bir bölümü sürtünme ile kaybedilmektedir .

Teorik olarak sürtünme, iki cismin birbirine göre hareketi esnasında temas yüzeyine teğet ve harekete zıt yönlü bir kuvvettir ve cisimler arasındaki bastırılma kuvvetine ve sürtünme katsayılarına bağlıdır. Bir kanin dişin distal hareketi esnasında diş distal yönde devrilir ve tel ile braket arasında bir açı meydana gelir. Çekme kuvveti arttıkça dişteki devrilmeye buna bağlı olarak tel ile braket arasındaki açı ve dolayısıyla sürtünme miktarı da artar. Buna benzer olaylar bir ark telinin preangülasyonlu ve pretorklu bir straight wire braketini içine yerleştirilmesiyle de ortaya çıkar. Diş hareket ettikçe, tel açılı braket içinden kayar ve bu materyaller arasında sürtünme kuvvetlerinin ortaya çıkmasına neden olur.

Klinikte tel ile braket arasında sürtünmeye neden olan faktörler son yıllarda pek çok yönden araştırılmıştır. Bu faktörler :

1-Brakete bağlı faktörler,

• Materyali (1-6).

• Genişliği (7)

• Şekli ve yapım tekniği (8,9).

2-Ark teline bağlı faktörler,

• Materyali:(3,5,7,10,11).

• Çap ve kesiti: (7,11-13).

• Katılığı (Stiffness) : (14)

3-Ligatüre bağlı faktörler,

• Sıklığı (7,15,16).

• Kendinden bağlamalı braketlerin kullanılması (11,17-19).

• Materyali:(7,12,20).

4-Kuvvetin uygulanma şekline bağlı faktörler:

• Şiddeti :(21)

• Uygulama noktası:(1,22)

5-Biyolojik faktörler

Tükrük (5,7,15,19,23-25)

Çevre doku direnci (22,26)

6-Tel ile braket arasındaki açı, (13,27-29) olarak ayrılabilir.

Yukarıda sayılan faktörler içinde klinik olarak en anlamlı olanları tel çapı, materyali, katılığı ve tel ile braket arası açının etkileridir. Özellikle açının sürtünme değerlerini önemli düzeyde etkileyen bir faktör olduğu bildirilmektedir (13,27-29). Ne var ki bu konuda yapılan çalışmalarda tel ile braket arasındaki açı değerleri basit açıölçerler kullanılarak "göz kararı" tayin edilmektedir. Açının bu yön-

temlerle tespitinde yapılacak küçük hatalar bile sonucu önemli oranda etkileyebilecektir.

Bu çalışmanın amacı, değişik çap, materyal ve katılık (stiffness) özelliklerine sahip teller ile paslanmaz çelik braketler arasında 4 farklı açı değerinde ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerini hassas bir ölçüm yöntemi kullanarak incelemektir.

MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada 0° tork ve 0° angulasyona sahip 0.018" slot çaplı paslanmaz çelik alt kesici braketleri (Ormco Company Glendora California) ile farklı çap ve materyallerde teller kullanılmıştır (Tablo 1). Tel materyalleri ;

-American Orthodontics firmasının 0.016" Paslanmaz çelik,

-American Orthodontics firmasının 0.016" x 0.022" Paslanmaz çelik,

-Unitek firmasının 0.016" Nikel Titanyum,

-Unitek firmasının 0.016" x 0.022" Nikel Titanyum,

-Ormco firmasının 0.0.16" b Titanyum,

-Ormco firmasının 0.0.16" x 0.022" b Titanyum,

-American Orthodontics firmasının 0.016" Nikel Titanyum Slippery

-Dentaflexurum firmasının 0.016"x0.022" Dentaflexflex,

-American Orthodontics firmasının 0.0155" Coxial materyallerinden üretilmiş olan ark telleridir.

Tablo 1 : Çalışmada kullanılan teller

TEL	KISALTMA	ÜRETİCİ FİRMA	ÇAP
Paslanmaz çelik	SS	American Orthodontics	0.016"
Paslanmaz çelik	SS	American Orthodontics	0.016" x 0.022"
Nikel Titanyum	NiTi	Unitek	0.016"
Nikel Titanyum	NiTi	Unitek	0.016" x 0.022"
Nikel Titanyum Slippery	Slip	American Orthodontics	0.016"
Beta- Titanyum	TMA	Ormco	0.0.16"
Beta- Titanyum	TMA	Ormco	0.016" x 0.022"
Dentaflex	Denta	Dentaurum	0.016"x0.022"
Coxial	Coax	American Orthodontics	0.0155"

Bu çalışmada, 0.016" çaplı Dentaflexflex, 0.016"x0.022" çaplı Slippery ve Coaxial tel-çap ve materyal kombinasyonları mevcut olmadığından çalışmaya dahil edilmemişlerdir.

Sürtünme test cihazı:

Çalışmamızda kullanılan test cihazı açının braket ile tel arasındaki sürtünme direnci üzerine olan etkisini ölçmek amacıyla planlanmıştır (Şekil-1, a-b) (Resim1,a-b).Test cihazı iki ana bölümden oluşmaktadır.

a) Üzerinde braketi taşıyan ana gövde:

Cihaz Şekil-1'de a ve b ile gösterilen, bir düzlemde birbiri üzerinde sağa-sola, ileri ve geri kolaylıkla hareket edebilen iki tablanın üzerinde yer almaktadır. Bu tablalar, son derece hassas vidalar (V) vasıtasıyla hareket ettirilebilmektedir. Braket (C), bir metal blok (D) içinde kolayca dönebilen bir şaftın (E) ucuna monte edilmiş olan bir disk (F) üzerinde yapışık durmaktadır. Braketi taşıyan şaft (E) metal blok içinden geçerek arkada yer alan dijital açı ölçere (G) bağlanmaktadır. Braket tam 0° konumundayken disk bir vida (H) yardımıyla şaft üzerine fikse edilmektedir. Braketin tam 0° konumu şöyle belirlenmiştir; 0.018"x0.025" SS tel rehber olarak alınmıştır. Bu tel braket slotu içine yerleştirildikten sonra, universal test cihazının hareketli parçasıyla bir kere yukarı aşağı hareket ettirilmiş ve tel ile braket arasında temas olmadığı, dijital ekranda herhangi bir kuvvet değeri okunmadığı an braketin tam 0° konumu olarak kabul edilmiştir. Ana şaftın döndürülmesiyle oluşturulan her açı değeri elektronik açıölçer vasıtasıyla "puls" cinsinden 0.7° hassasiyetle dijital ekrana (I) yansıtılmaktadır. Braket üzerine binen kuvvetler altında açıda değişme olmaması için cihazın arka bölümünde bir kilit düzeneği (J) bulunmaktadır.

b) Üzerinde ortodontik ark telini taşıyan bölüm:

Bu parça üzerinde ark teli (M), kalibre edilmiş bir yay (K) vasıtasıyla gergin tutulmakta ve 2 vida (L) yardımıyla da sabitlenmektedir. Frank ve Nikolai'ye (6) göre tel ile braket arasındaki düşük açı değerlerinde, ligatür sürtünme üzerinde etkili faktördür. Tel ile braket arasındaki yüksek açı değerlerinde ise sürtünme direnci üzerindeki etkin faktör telin stiffnesstir. Bu nedenle bu çalışmada ligatür faktörü ortadan kaldırılmış, tel ile braket ligatür ile bağlanmamıştır. Bu durumda telin braket oluşuna

yerleştirilmesi esnasında telin slot tabanına temas etmemesinin sağlanması önem kazanmaktadır. Bunu gerçekleştirmek için şöyle bir yol izlenmiştir. Braketi taşıyan şaft her tel ve braket değişimi sırasında döndürülmek suretiyle sıfırlanmıştır.0.018"x 0.022" lik rehber tel vasıtasıyla brakete tam düşey konum verildiğinden emin olduktan sonra tel, hareketli tablaların vidalarını (V) çevirmek suretiyle slot boşluğunun tam ortasında yer alacak şekilde pasif olarak konumlandırılmıştır. Bu konumda tel ile braket arasında temas bulunmadığından sürtünme de söz konusu değildir. Bu nedenle çalışma 0° yerine 2.8° ile başlatılmıştır.

Sürtünme cihazı, bir universal test cihazı altına monte edilerek kullanılmıştır. Cihazda, braket belli bir açıda tutulmuş, tel ise yukarı doğru 0.5 mm/sn'lik sabit bir hızla çekilmiştir. Her deneme öncesinde cihaz sıfırlanmıştır ve elde edilen kuvvet değerleri bilgisayar aracılığıyla kuvvet-esneme eğrisi olarak ekrana yansıtılmıştır. Bu sistemde sadece tel ile braket temasta olduğundan ekranda okunan ortalama değerler sadece bu iki materyal arasındaki sürtünme direnci olarak kabul edilerek aynen alınmıştır. Çalışmada 100 N cell kapasiteli Universal test cihazı (Lloyd Instruments LR5K Fareham, England) kullanılmıştır. Universal test cihazının load cell'i üstte cross head ise altta yer almaktadır. Her data toplanması esnasında load cell, otomatik kalibrasyon sistemi vasıtasıyla kalibre edilmiştir. Elde edilen değerler Newton değeri olarak kaydedilmiştir.

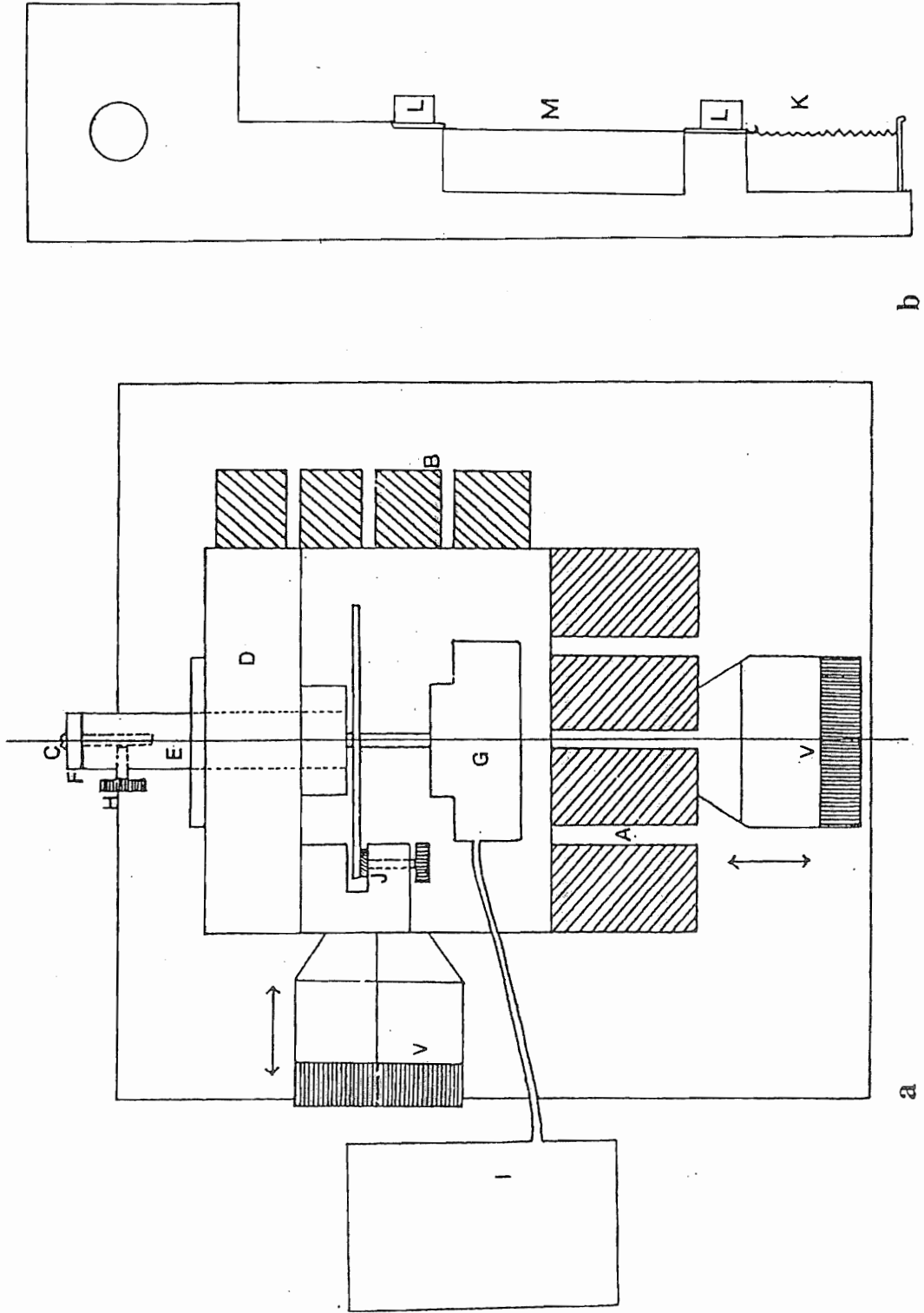
Herbir tel-braket çifti 5 defa ayrı ayrı test edilmiştir.

İstatistik Metod: Her braket ve tel çiftinden elde edilen sürtünme kuvvetlerinin ortalama ve standart sapma değerleri Minitab paket programı kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Her açı değeri için tel materyallerinin sürtünme kuvvetleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Ortalamalar arasındaki farkların anlamlılığı Newmann Keuls testi ile belirlenmiştir.

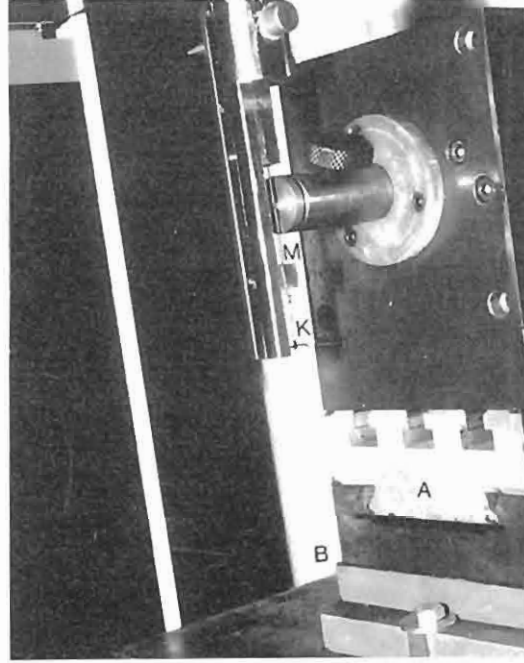
BULGULAR

Her braket ve tel çiftinden elde edilen ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 2 ve 3'de görülmektedir.

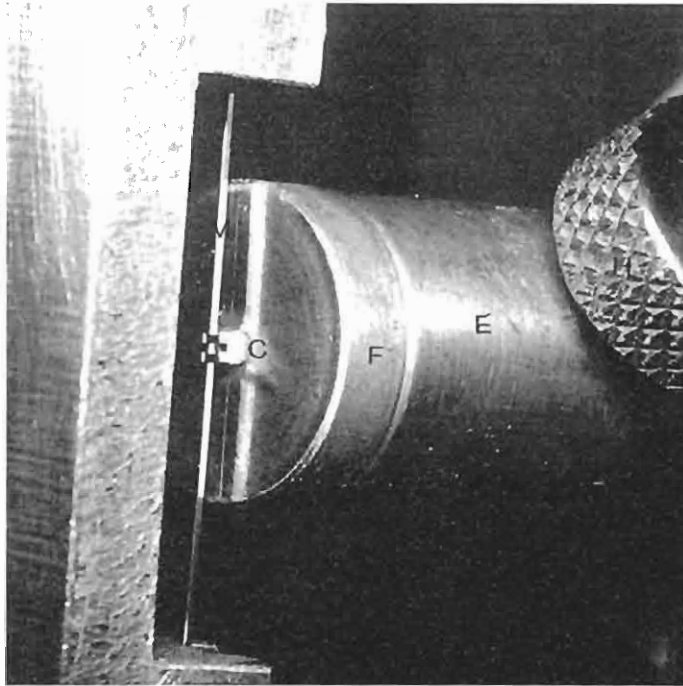
Newmann Keuls testi sonuçlarına göre 4 açı değerinde 0.016" tellerde;



Şekil-1: Sürtünme cihazı.



Resim 1: Çalışmada kullanılan test cihazının yakından görünüşü.
Resim 1a: Tel eksenine göre açlandırılan braket sabit tutulurken
üniversal test cihazına bağlı olan yukarı doğru sabit hızla hareket eden
tel taşıyıcı bölüm



Resim 1b: Tel ile braket arasındaki açılanmanın yakından görünüşü.

Tablo 2: 0.016" tellerde herbir braket ve tel çiftinden elde edilen ortalama ve standart sapma değerleri sürtünme değeri=Newton

	0.016 SS		0.016 Slip		0.016 NiTi		0.016 TMA		0.0155 COAX	
	X	SD	X	SD	X	SD	X	SD	X	SD
AÇI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.8	0.35	0.06	0.16	0.01	0.09	0.04	0.05	0.01	0.20	0.02
7	1.46	0.06	1.29	0.08	1.42	0.39	3.93	0.46	1.11	0.07
11-2	2.98	0.57	2.23	0.07	6.63	0.26	14.23	0.04	1.87	0.06
16.1	5.12	0.6	4.14	0.11	17.96	0.06	26.55	0.28	2.18	0.34

Tablo 3: 0.016" x 0.022" tellerde herbir braket ve tel çiftinden elde edilen ortalama ve standart sapma değerleri. Sürtünme değeri=Newton

	0.016x0.022 SS		0.016x0.022 NiTi		0.016x0.022 TMA		0.016x0.022 DENTA	
	X	SD	X	SD	X	SD	X	SD
AÇI	-	-	-	-	-	-	-	-
2.8	1.50	0.03	0.63	0.09	3.01	1.14	0.08	0.13
7	2.77	0.27	2.20	0.35	8.54	0.27	0.16	0.18
11-2	5.63	0.07	10.36	0.04	17.07	0.07	0.65	0.34
16.1	13.19	0.46	18.62	0.08	34.19	1.23	1.12	0.25

2.8° açıda; Slippery ile TMA ve NiTi, Coaxial ile TMA ve NiTi, SS ile TMA, NiTi, Slippery ve Coaxial arasında,

7° açıda; TMA ile Coaxial, Slippery, NiTi ve SS arasında,

11.2° açıda; NiTi ile Coaxial, Slippery ve SS, TMA ile Coaxial, Slippery, SS ve NiTi arasında,

16.1° açıda; Slippery ile Coaxial, SS ile Coaxial, NiTi ile Coaxial, Slippery ve SS, TMA ile Coaxial, Slippery ve SS arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur (Tablo 4).

Newmann Keuls testi sonuçlarına göre 4 açı değerinde 0.016"x0.022" tellerde;

2.8° açıda; SS ile Dentaflex ve NiTi, TMA ile Dentaflex, NiTi ve SS arasında,

7° açıda; NiTi ile Dentaflex, SS ile Dentaflex ve NiTi, TMA ile Dentaflex, NiTi ve SS arasında,

11.2° açıda; SS ile Dentaflex, NiTi ile Dentaflex, SS, TMA ile Dentaflex, SS, NiTi arasında,

16.1° açıda; SS ile Dentaflex, NiTi ile Dentaflex ve SS, TMA ile Dentaflex, SS ve NiTi arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur (Tablo 5).

Newmann Keuls testi sonuçlarına göre 4 açı değeri arasında istatistiksel olarak $p < 0.0001$ düzeyinde, 0.016" çaplı SS, Slippery, TMA ve 0.0155" Coaxial telde 7° ile 2.8° arasında, 11.2° ile 2.8° ve 7° arasında 16,1° ile 2.8°, 7° ve 11.2° arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur. 0.016" NiTi telde ise 11.2° ile 2.8° ve 7° arasında, 16.1° ile 2.8°, 7° ve 11.2° arasında anlamlı farklar belirlenmiştir (Tablo 6,7).

Newmann Keuls testi sonuçlarına göre 4 açı değeri arasında istatistiksel olarak $p < 0.0001$ düzeyinde,

Tablo 4: 0.016" tellerde 4 açı değerinde Newmann Keuls testi sonuçları (p <0.0001)

	TMA	2.6 NiTi	Slip	Coax	SS		Coax	Slip	7 NiTi	SS	TMA
TMA						Coax					
NiTi						Slip					
Slip	+	+				NiTi					
Coax	+	+				SS					
SS	+	+	+	+		TMA	+	+	+	+	
	Coax	11.2 Slip	SS	NiTi	TMA		Coax	Slip	16.1 SS	NiTi	TMA
Coax						Coax					
Slip						Slip	+				
SS						SS	+				
NiTi	+	+	+			NiTi	+	+	+		
TMA	+	+	+	+		TMA	+	+	+		

Tablo - 5: 0.016x0.022" tellerde 4 açı değerinde Newman-Keuls testi sonuçları (p<0.0001)

	Denta	2.6 NiTi	SS	TMA		Denta	NiTi	7 SS	TMA
Denta					Denta				
NiTi					NiTi	+			
SS	+	+			SS	+	+		
TMA	+	+	+		TMA	+	+	+	
	Denta	11.2 SS	NiTi	TMA		Denta	SS	16.1 NiTi	TMA
Denta					Denta				
SS	+				SS	+			
NiTi	+	+			NiTi	+	+		
TMA	+	+	+		TMA	+	+	+	

0.016"x0.022" SS, NiTi, TMA tellerde 7° ile 2.8° arasında, 11.2° ile 2.8° ve 7° arasında 16,1° ile 2.8°, 7° ve 11.2° arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur. 0.016"x0.022" Dentaflex telde ise 11.2° ile 2.8° ve 7° arasında, 16.1° ile 2.8°, 7° ve 11.2° arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur (Tablo 6,7).

Sürtünme kuvvetleri tüm tellerde açı değerleri ile lineer olarak artış göstermektedir (Şekil-2).

Tel materyallerinin sürtünme değerlerinin en düşükten en yükseğe doğru sıralaması şöyledir;

- 0.016"x0.022" Dentaflex,
- 0.016" Coaxial,
- 0.016" Slippery,
- 0.016" SS,

Tablo-6: 0.016" SS , 0.016" Slippery, 0.016" TMA, 0.0155" Coaxial, 0.016x0.022" SS, 0.016x0.022" NiTi ve 0.016x0.022" TMA telde Neumann-Keuls testi sonuçları (p<0.0001)

	2.6	7	11.2	16.1
2.6				
7	+			
11.2	+	+		
16.1	+	+	+	

Tablo-7: 0.016" NiTi ve 0.016x0.022" Dentaflexflex telde Neumann-Keuls testi sonuçları (p<0.0001)

	2.6	7	11.2	16.1
2.6				
7				
11.2	+	+		
16.1	+	+	+	

-0.016"x0.022" SS,

-0.016" NiTi,

-0.016"x0.022" NiTi,

-0.016" TMA,

-0.016"x0.022" TMA.

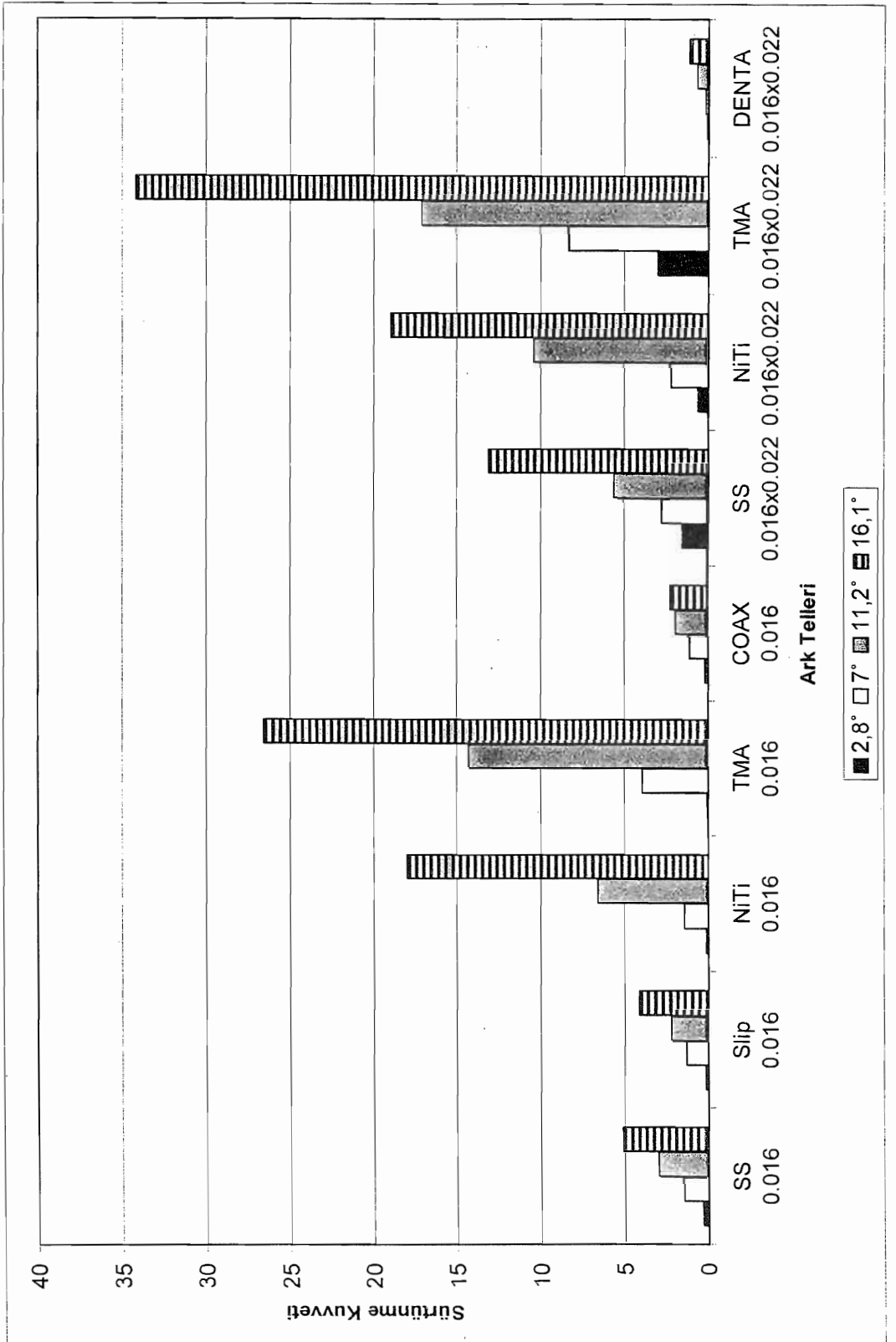
TARTIŞMA

Tel ile braket arasındaki açığı arttıkça bu iki materyal arasındaki sürtünme direnci de artmaktadır. Teorik olarak sürtünme iki materyal arasındaki bastırılma kuvvetine (Normal force) ve yüzeylerin sürtünme katsayısına doğrudan bağlıdır. Tel ile braket arasındaki açının artması bastırılma kuvvetinin(normal force) artmasına ve buna bağlı olarak sürtünme direncinin de artmasına neden olmaktadır. Bu sonuç, bu konuda önceden yapılan çalışmaların sonuçlarıyla desteklenmektedir (7,13,22,28,29). Frank ve Nikolai (7), sürtünmenin tel ile braket arasındaki açığı arttıkça non lineer olarak artış gösterdiğini ve bu olayda özellikle telin katılığının (stiffness) belirleyici olduğunu belirtmektedir.

Çalışmada kullanılan tellerin stiffness değerleri sıralandığında en düşükten en yükseğe doğru sırasıyla

çok sarımlı teller (Coaxial – Dentaflex), NiTi – Slippery, TMA, ve SS şeklindedir. (30). Bu çalışmada gerek 0.016 SS gerek 0.016x0.022" çaplı NiTi ve TMA tellere ait sürtünme değerleri, aynı çaplı SS tellere oranla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olarak bulunmuştur. Yapılan araştırmalarda NiTi ve TMA tellerin SS tellere oranla tel ile braket arasında daha fazla sürtünmeye neden olduğunu belirtilmektedir (10,26,31). Cacciafesta ve arkadaşları (32,33) yaptıkları çalışmalarında SS ve NiTi tellere göre TMA tellerin en yüksek sürtünme gösterdiklerini belirtmişlerdir. Oysa SS gibi stiffness değeri yüksek olan tellerin, NiTi ve TMA gibi çok daha düşük stiffness değerlerine sahip tellere oranla daha yüksek sürtünme değerleri göstermesi beklenirdi (7,13,34). Ancak bu çalışmada, Frank ve Nikolai'nin (7) bulgularından farklı olarak sürtünmenin açığı değeri ile lineer olarak artış gösterdiği ve tellerin stiffness değerlerinden bağımsız olduğu gözlenmektedir. $P = 2Fh / w$ formülüne göre (P =sürtünme direnci, F =telden h mesafesinde etkiyen eşdeğer kuvvet, l =sürtünme katsayısı, w =braket genişliği) sürtünme telin stiffnessinden bağımsızdır (10). Tidy'e göre (10), braketin kavisi dışında yer aldığı durumlarda telin stiffnessi normal kuvveti, dolayısıyla sürtünmeyi etkileyen faktördür. İyi dizilmiş kavislerde ise telin esnemesinden kaynaklanan kuvvetler önemsizdir ve böyle durumlarda sürtünme büyük ölçüde telin stiffnessinden bağımsızdır. Bu çalışmada sabit bir gerginlikte tutulan tel açılı duran braket oluşu içinden kaydırılmaktadır. Telin düz ve gergin tutulması nedeniyle stiffness'in etkin olmadığı düşünülebilir.

Çalışmada, NiTi ve TMA gibi çok düşük stiffnesse sahip olan ve esasen birer paslanmaz çelik alaşımı olan Coaxial ve Dentaflex teller düz SS tellere göre anlamlı düzeyde düşük sürtünme değerleri göstermektedir. Ayrıca, NiTi ile aynı stiffness değerine sahip olan ancak implantasyonu ile sadece yüzey özellikleri değiştirilmiş olan Slippery NiTi tel ile elde edilen sürtünme değerlerinin de konvansiyonel NiTi ye ait değerlerden anlamlı düzeyde düşük olduğu görülmektedir. Drescher ve arkadaşlarına (26) göre, yüzey özellikleri (surface texture) edgewise mekaniğinde sürtünme miktarını belirleyici ek bir faktördür. Bu bulgular, yüzey pürüzünün, tel ile braket arasındaki sürtünme değerleri üzerinde, stiffnesse göre daha etkin bir faktör olduğunu göstermektedir. Çalışmada pürüzlü yüzeye sahip NiTi ve TMA gibi



Şekil-2: 4 farklı açıda braket ile farklı tel materyalleri arasındaki sürtünme kuvvetleri

titanyum alaşımlı teller hem 0.016", hemde 0.016" x 0,022" aplarda diğer tel materyallerine göre en yüksek sürtünme değerlerini göstermektedirler. Bu sürtünme değerleri, tel ile braket arasında kilitlenmeye (binding), dolayısıyla diş hareketinin durmasına neden olduğundan klinik olarak kabul edilebilir sınırların dışındadır. Kapilla ve arkadaşları (31) yüksek yüzey przne sahip olan TMA tellerin SS braketler ile soğuk ortamda mikro kaynaklar oluşturduğunu vurgulamışlardır.

Yüzey pürüzü (surface roughness) yanında yüzey sertliği (surface hardness) de tel-braket arasındaki sürtünmeyi etkileyen faktörlerdendir (35,35) . Tobin ve arkadaşları (37), TMA tellerin, iyon implantasyonu metodu kullanılarak yüzeyleri sertleştirildiğinde daha düşük sürtünme değerlerine kavuştuklarını belirtmektedirler. Çalışmamızda, iyon implantasyonu yüzey pürüzlerini azaltılmış ve yüzey sertliği arttırılmış olan titanyum alaşımı Slippery tellerin konvansiyonel NiTi hatta SS tellere oranla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük sürtünme değerleri göstermesi yüzey pürüzünün ve yüzey sertliğinin, tel-braket arası sürtünme üzerindeki önemini vurgulama açısından önemlidir. Düşük açı değerlerinde telin stiffnessi sürtünme üzerinde etkin olarak görünmektedir.

Aynı materyele ve aynı yüzey özelliklerine sahip tellerde aı ve çap arttıa sürtünme değeride artmaktadır. Andreasen ve Quavedo (13) değişik çaplarda telleri pre-angulated braketler içinden çekerek yaptıkları sürtünme çalışmasında tel çapı ve devrilme miktarı arttıa sürtünme miktarının da arttığını bulmuşlardır. Tosun ve arkadaşları (8,27) ve Garner ve arkadaşları (38) tel çapı arttıa sürtünmenin arttığını belirtmektedirler. Oysa, bu çalışmada 0,016"x0,022" aplı çok sarımlı Dentaflex'e ait sürtünme değerleri, 0,016"aplı SS tele oranla daha düşüktür. Düzensiz yüzey yapıları nedeniyle diğer tellerden daha fazla yüzey przne sahip gibi görünen ve yüksek sürtünme değerleri göstermesi beklenen çok sarımlı tellerin düz paslanmaz elik tellere oranla daha düşük sürtünme değerleri oluşturması bu çalışmadaki önemli bulgulardan biridir. Bunun nedeni, çok sayıda ince çaplı paslanmaz elik telden oluşan bu tellerin hareketli yüzey Őekilleri (surface topography) sayesinde braketin slot kenarlarından kolaylıkla atlayarak araya sıkışmaktan kurtulabilmeleridir. Çalışmada, çok sarımlı telerde elde

edilen eğrilerin, diğer düz tellerle elde edilen eğrilere göre çok daha periodik olmasıda bu fikri desteklemektedir. Bu sürtünme eğrileri bir anlamda tellerin yüzey karakteristiklerini de yansıtılmaktadır. Düz paslanmaz elik tellerden farklı olarak bu tellerdeki çok düşük stiffness (katılık) + hareketli yüzey yapısı kombinasyonu yüksek açı değerlerinde bile tel-braket arasındaki sıkışmayı (binding) ortadan kaldırdığını sürtünmenin de düşük olmasına neden olmaktadır.

SONUÇLAR

1- Aı tel ile braket arasındaki sürtünme üzerinde en etkin faktördür. Sürtünme miktarı açı değerleri arttıa lineer olarak artmaktadır. Bu artışın tel çapı, materyali ve stiffness değerlerinden bağımsız olduğu görülmektedir.

2-Sürtünme, tellerin stiffness değerlerinden bağımsızdır.

3- Bu çalışmada yüzey pürüzü tel-braket arasındaki sürtünme üzerinde etkin bir faktör olarak görülmektedir. En yüksek sürtünme değerleri NiTi ve TMA gibi yüksek yüzey przne sahip tellerde ortaya çıkmaktadır. İyon implantasyonu metoduyla yüzeyleri sertleştirilen ve pürüzleri azaltılan Slippery NiTi teller konvansiyonel NiTi tellerden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşük sürtünme değerleri göstermektedir.

4- Tel apı sürtünme üzerinde etkin bir faktör olarak görünmektedir. Aynı materyelden tellerde çap arttıa sürtünmede artmaktadır. Çok sarımlı SS tellerden 0,016" x 0,022" Dentaflex en düşük sürtünme değerini gösteren teldir. Bu teller, hareketli yüzey topografileri sayesinde braketin slot kenarlarından kolaylıkla atlayarak araya sıkışmaktan kurtulabilmektedir.

KAYNAKLAR

1-Tanne K , Maturaba S , Hotei Y , Sakuda M , Yoshida M. Frictional forces and surface topography of a new ceramic bracket. Am J Orthod Dentofac Orthop 106 (3):273-278,1994.

2-Drescher D , Bourauel C , Schumacher HA. Optimization of arch guided tooth movement by the use of uprighting springs. Eur J Orthod 12:346-353,1990.

3-Angolkar PV, Kapilla S, Duncanson Jr.MG, Nanda RS. Evaluation of friction between ceramic brackets and orthodontic wires of four alloys. Am J Orthod Dentofac Orthop 98 (6) ; 499-506,1990.

- 4-Kusy RP, Whitley JO. Effects of surface roughness on the coefficients of friction in model orthodontic systems. *J Biomech* 23:913-925,1990.
- 5-Stannard JG, Gau JM, Hanna M. Comparative friction of orthodontic wires under dry and wet conditions. *Am J Orthod* 89:485-491,1986.
- 6 - Kusy RP, Whitley JQ. Frictional resistances of metal-lined ceramic brackets versus conventional stainless steel brackets and development of 3-D friction maps. *Angle Orthod* 71(5): 364-74,2001.
- 7-Frank CA, Nikolai RP. A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and arch wire. *Am J Orthod* 78:593-609,1980.
- 8-Tosun Y, Ünal H, Şen BH. Farklı üretim tekniklerine sahip paslanmaz çelik braketlerin sürtünme direncinin değerlendirilmesi, (poster), 6. Uluslararası Türk Ortodonti Derneği Kongresi. 16-20 Haziran 1998, İstanbul.
- 9-Ogata RH, Nanda RS, Duncanson MG, Sinha PK, Currier GF. Frictional resistances in stainless steel bracket-wire combinations with effects of vertical deflections. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 109 (5):535-542,1996.
- 10-Tidy DC. Frictional forces in fixed appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 96(3):249-254,1989.
- 11- Thorstenson GA, Kusy RP. Effect of archwire size and material on the resistance to sliding of self-ligating brackets with second-order angulation in the dry state. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 122(3): 295-305,2002.
- 12-Riley JL, Garrett SG, Moon PC. Frictional forces of ligated plastic and metal edgewise brackets. *J Dent Res* 58:A21,1979.
- 13-Andreasen GF, Quevedo FR. Evaluation of frictional forces in the 0.022"x 0.028" edgewise bracket in-vitro. *J Biomech* 3:151-160,1970.
- 14-Vaughan TL, Duncanson MG, Nanda RS, Currier GF. Relative kinetic frictional forces between sintered stainless steel brackets and orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 107 (1): 20-27 ,1995.
- 15-Thorstenson GA, Kusy RP. Effects of ligation type and method on the resistance to sliding of novel orthodontic brackets with second-order angulation in the dry and wet states. *Angle Orthod* 73(4):418-30,2003.
- 16- Iwasaki LR, Beatty MW, Randall CJ, Nickel JC. Clinical ligation and intraoral friction during sliding on a stainless steel archwire. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 123(4):408-15,2003.
- 17-Berger JL. The influence of the SPEED brackets self-ligating design on force levels in tooth movement: A comparative in vitro study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 97 (3):219-228,1990.
- 18-Hain M, Dhopatkar A, Rock P. The method of ligation method on friction in sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 123(4) 416-422,2003.
- 19-Thorstenson GA, Kusy RP. Comparison of resistance to sliding between different self-ligating brackets with second order angulation in the dry and saliva states. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 121(5): 472-82,2002.
- 20-Edwards GD, Davies EH, Jones SP. The ex-vivo effect of ligation technique on the static frictional resistance of stainless steel bracket and archwires. *British J Orthod* 22 :145-153,1995.
- 21-Stoner M. Force control in clinical practise. *Am J Orthod* 46:163-186,1960.
- 22-Yamaguchi K, Nanda RS, Morimoto N, Oda YA. Study of force application, amount of retarding force and bracket width in sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 109 (1):50-60,1996.
- 23-Sauder CR, Kusy RP. Surface topography and frictional characteristics of ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 106 (1):76-87,1994.
- 24-Kusy RP, Whitley JO, Prewitt MJ. Comparison of the frictional coefficients for selected archwire-bracket slot combinations in the dry and wet states. *Angle Orthod* 61 :293-302,1991.
- 25-Pratten DH, Popli K, Germane N, Gunsolley JC. Frictional resistance of ceramic and stainless steel orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 98(4):398-403,1990.
- 26-Drescher D, Bourauel C, Schumacher HA. Frictional forces between bracket and arch wire. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 96:397-404,1989.
- 27-Tosun Y, Ünal H, Türkoğlu K. Tel ile braket arasındaki açının sürtünme direnci üzerine etkisi. (tebliğ), 6. Uluslararası Türk Ortodonti Derneği Kongresi, 16-20 Haziran 1998, İstanbul.
- 28-Tselepis M, Brockhurst P, West VC. The dynamic frictional resistance between orthodontic brackets and wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 106 (2):131-138,1994.
- 29-Dickson JAS, Jones SP, Davies EH. A Comparison of the frictional characteristics of five initial alignment wires and stainless steel brackets at three bracket to wire angulations-an in vitro study. *British J Orthod* 21:15-21,1994.
- 30-Kusy RP, Dilley GJ. Elastic property ratios of a triple stranded stainless steel archwire. *Am J Orthod* 86:177-188,1984.
- 31-Kapila S, Angolkar PV, Duncanson MG, Nanda RS. Evaluation of friction between edgewise stainless steel brackets

and orthodontic wires of four alloys. Am J Orthod Dentofac Orthop 98 (2):117-126,1990.

32-Cacciafesta V, Sfondrini MF, Riccardi A, Scribante A, Klersy C, Auricchio F. Evaluation of friction of stainless steel and esthetic self-ligating brackets in various bracket-archwire combinations. Am J Orthod Dentofac Orthop 124 (4):395-402,2003.

33- Cacciafesta V, Sfondrini MF, Scribante A, Klersy C, Auricchio F. Evaluation of friction of conventiol and metal-insert ceramic brackets in various bracket-archwire combinations. Am J Orthod Dentofac Orthop 124 (4):403-409,2003.

34-Nicholls J. Frictional forces in fixed orthodontic appliances. Dent Practice 18;326,1968.

35-Kusy RP, Whitley JO, Mayhew MJ, Buckthal JE. Surface Roughness of orthodontic archwires via laser spectroscopy. Angle Orthod 58: 33-45,1988.

36-Mokhtar MC. The effects of hardness on the frictional behaviour of metals. Wear78:297-304,1982.

37-Tobin EJ, Kusy RP, Sioshansi P, Whitley JO. Ion implantation of _Ti orthodontic arch wires for friction, paper presented at "Surface modification of metals by iom-beams-91(SM2IB)" , Washington D.C 15-19, July 1991.

38-Garner LD, Allai WW, Moore BK. A comparison of frictional forces during simulated canine retraction of a continious edge-wise arch wire. Am J Orthod Dentofac Orthop 90:199-203,1986.

Yazışma Adresi:

Yahya TOSUN
Ege Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi
Ortodonti Anabilim Dalı
Bornova 35100, İzmir Türkiye
Tel (İş): 0 232 388 03 26
Faks: 0 232 388 03 25